

УДК 656.223.1

Губенко В.К.<sup>1</sup>, Хара М.В.<sup>2</sup>

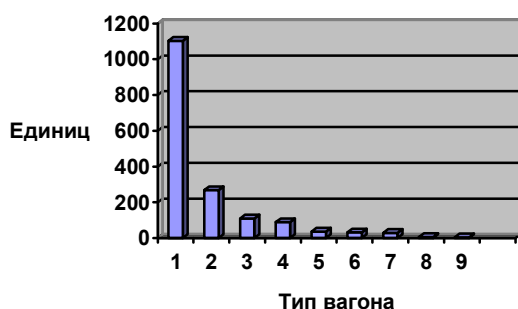
### **ФАКТОРНАЯ ЦЕПЬ ГОТОВНОСТИ К ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОПЕРАЦИЯМ ВАГОНОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА**

*На основе структурно-функционального анализа надежности характеристик вагонов промышленного железнодорожного транспорта определены основные параметры, характеризующие изменение надежности вагонных парков в процессе эксплуатации. Для обеспечения готовности заводских парков вагонов к транспортно-технологическим операциям, предложено воспользоваться методом факторной цепи, начиная с последовательной оценки состояния надежности вагонов до затрат на их восстановление.*

Известные научные исследования, в том числе и работы [1 – 3], являются основой решения проблем надежности в технике. В то же время еще недостаточно используются теоретические методы, необходимые для обеспечения надежной работы транспортных средств промышленных предприятий. Эффективность функционирования транспортных коммуникаций металлургического предприятия зависит от технической готовности вагонов, так как большая часть внутритехнологических перевозок грузов выполняется вагонами промышленного железнодорожного транспорта. Так на ОАО «МК «Азовсталь» таких перевозок более 80 %.

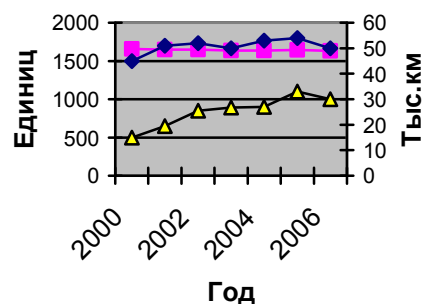
Цель работы – применение метода последовательного анализа надежности характеристик и готовности к транспортным операциям вагонов промышленного транспорта.

Перевозки осуществляются парком вагонов, состоящем на балансе в цехе эксплуатации и ремонта вагонов комбината. Инвентарный вагонный парк включает девять типов вагонов: полувагоны, думпкары, окатышевозы, коксовозы, крытые вагоны, транспортер, цистерны, платформы, цементовозы. Общая численность парка составляет 1632 единицы. Большая часть технологических перевозок предприятия осуществляется в платформах и составляет 68 % (рис. 1), а их техническое состояние и наработка на отказ приведены на рис. 2, 3.



1 – платформы; 2 – окатышевозы; 3 – думпкары;  
 4 – коксовозы; 5 – полувагоны; 6 – цементовозы;  
 7 – крытые вагоны; 8 – цистерны; 9 – транспортер

Рис. 1 – Общая численность вагонного парка



■ инвентарный парк вагонов  
 ▲ внеплановые заходы в депо  
 ◆ пробег между ремонтами

Рис. 2 – Техническое состояние парка вагонов ОАО «МК «Азовсталь»

<sup>1</sup>ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

<sup>2</sup>ПГТУ, ст. препод.

Особенностью оценки готовности вагонов промышленного транспорта к технологическим операциям является то, что следует оценивать в отдельности каждые типы и группы вагонов по их участию в перевозочном процессе.

В технологических циклах оборота железнодорожные вагоны подвергаются широкому спектру разрушений, отличающихся по видам и наработке на отказ (рис. 3).

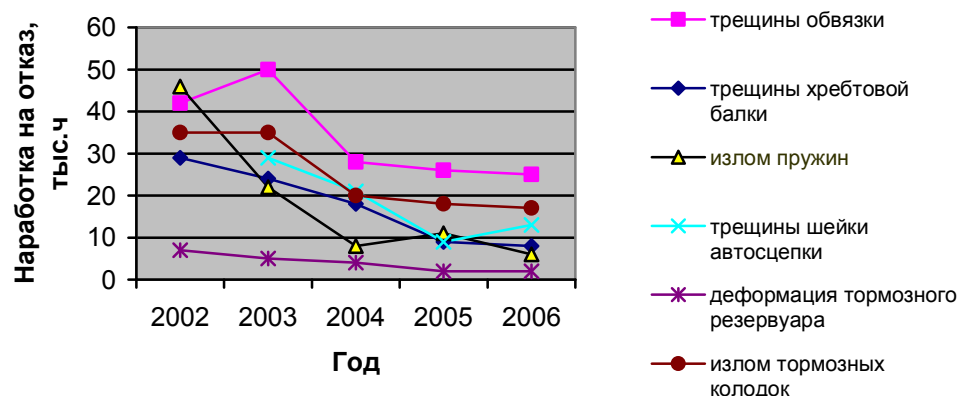


Рис. 3 – Нарботка на отказ основных узлов вагонов

Увеличивается интенсивность эксплуатации парка подвижного состав, его износ, снижение долговечности, преждевременный выход из строя и затраты на восстановление работоспособного состояния (затраты на ремонт одного вагона составляют в настоящее время от 160 до 8159 гривен). Эти факторы зависят также от перевозимых грузов.

Номенклатура перевозимых грузов достаточно разнообразна: огнеупорные изделия, известь, колошниковая пыль, лом, обрезь, оборудование, шлам, пек, мусор, песок, чугун, оборудование и т.д. По условиям эксплуатации вагоны подразделяются на две группы: работающие в нормальных условиях (перевозка огнеупоров, оборудование и др.) и работающие в тяжелых условиях (перевозка лома, металла, колошниковой пыли, других видов сырья).

Наиболее полно характеризует изменение надежности вагонных парков в процессе эксплуатации функция:  $\omega(t)$  – параметр потока их отказов [1, 2].

Функция  $\omega(t)$  является характеристикой восстанавливаемых в процессе эксплуатации вагонов промышленного транспорта.

Статистически функция  $\omega(t)$  определяется следующим образом:

$$\omega(t) = \frac{\Delta n_k}{N \Delta t}, \quad (1)$$

где  $N$  – общее число восстанавливаемых вагонов, находящихся в эксплуатации;

$\Delta n_k$  – число отказов, попавших в  $k$ -й интервал наблюдения длиной  $\Delta t$ .

Отказ и исправная работа являются несовместимыми и противоположными событиями. Отсюда вероятность безотказной работы определяет как

$$P(t) = 1 - Q(t), \quad (2)$$

где  $t$  – время, за которое оценивается вероятность безотказной работы,

$Q(t)$  – вероятность отказа.

Для оценки вероятности безотказной работы рекомендуется [1] воспользоваться экспоненциальной моделью:

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (3)$$

В этой модели постоянными являются интенсивность отказов вагонов  $\lambda$  и средняя наработка до отказа  $T = \frac{1}{\lambda}$ .

В то же время за период с 1990 по 2007 годы слабыми темпами наращивается парк вагонов технологического назначения данные диаграммы (рис. 4). Такое положение привело к тому, что на предприятии функционирует 68 % вагонов с превышением нормативного срока службы, причем количество неисправных вагонов достигает 7 % рабочего парка.

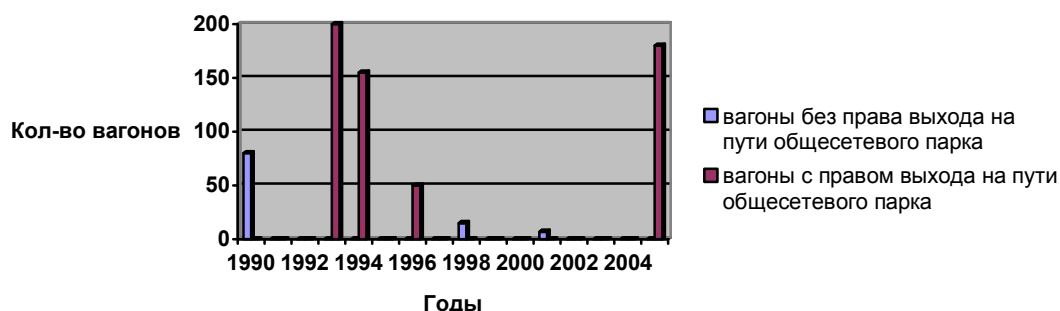


Рис. 4 – Количество вагонов приобретенных предприятием

При сохранении темпов старения и износа вагонов и отсутствия возможностей пополнения парка (данные о выбытии вагонов из парка приведены на рис. 5) можно прогнозировать значительное сокращение рабочего парка вагонов вследствие списания по признаку их предельного состояния. Вот почему возникает необходимость принятия системных мер по поддержанию готовности вагонов к транспортно-технологическим операциям.

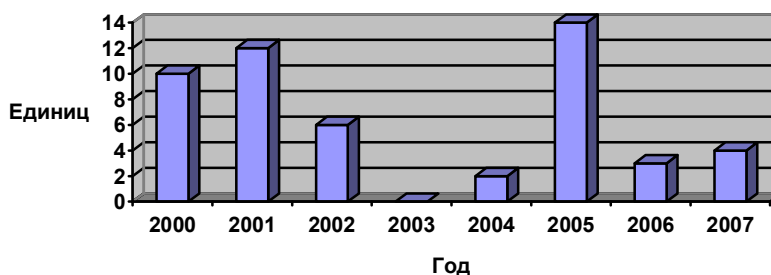


Рис. 5 – Выбытие внутризаводских вагонов

В качестве метода, позволяющего осуществлять системные принципы оценки готовности заводских парков вагонов, предлагается использовать метод факторной цепи готовности парков вагонов к транспортно-технологическим операциям, которая представляет собой следующую последовательность оценок состояния вагонов.

<Параметры потока отказов  $\omega(t) \Rightarrow$  вероятность отказа  $P(t) \Rightarrow$  средняя наработка до отказа –  $T \Rightarrow$  коэффициент готовности группы вагонов –  $k_z \Rightarrow$  коэффициент вынужденного простоя группы вагонов  $k_n \Rightarrow$  коэффициент профилактики каждого вагона  $\Rightarrow$  частота профилактики  $k_o \Rightarrow$  объединенная удельная оперативная стоимость технического обслуживания и ремонтов –  $C$ >

Коэффициентом готовности группы вагонов промпредприятия назовем отклонение времени безотказной их работы ( $t_p$ ) к сумме времени их безотказной работы и времени восстановления ( $t_b$ ) их работоспособности ( $t_p + t_b$ )

$$k_z = \frac{t_p}{t_p + t_b} \quad (4)$$

Коэффициентом вынужденного простоя – отношение времени восстановления к сумме времени восстановления и безотказной работы вагонов

$$k_n = \frac{t_b}{t_p + t_b} \quad (5)$$

Коэффициенты вынужденного простоя и готовности вагонов связаны между собою следующей зависимостью:

$$k_n = 1 - k_z. \quad (6)$$

Коэффициентом профилактики называется отношение времени восстановления ко времени безотказной работы вагонов:

$$k_{np} = \frac{t_z}{t_p} = \frac{1 - k_z}{k_n} = \frac{k_n}{k_z}. \quad (7)$$

Частотой профилактики называется отношение числа осмотров и ремонтов к сумме времени безотказной работы и восстановления:

$$k_\omega = \frac{n_p + n_{oc}}{t_p + t_z}, \quad (8)$$

где  $n_p$  – число ремонтов;

$n_{oc}$  – число профилактических осмотров.

Объединенная удельная оперативная стоимость технических обслуживаний и ремонтов

$$C = \bar{C}_{mo} + \bar{C}_{mp} + \bar{C}_{кр}, \quad (9)$$

где  $\bar{C}_{mo}$  – удельная оперативная суммарная стоимость технических обслуживаний;

$\bar{C}_{mp}$  – удельная суммарная оперативная стоимость текущих ремонтов;

$\bar{C}_{кр}$  – удельная суммарная оперативная стоимость капитальных ремонтов.

На основе предложенной факторной цепи предполагаются дальнейшие экспериментальные исследования и практическое обобщение, разработка моделей, алгоритмов и выполнение расчетов прикладных инженерных задач для промышленного транспорта.

#### *Выводы*

1. В сложных условиях перевозочного процесса металлургических предприятий увеличиваются интенсивность эксплуатации парка подвижного состава и затраты на восстановление их работоспособного состояния. При сохранении темпов старения и износа вагонов можно прогнозировать в ближайшей перспективе значительное сокращение рабочего парка. Поэтому разработка мероприятий по повышению безотказной работы парков вагонов промышленных предприятий является актуальной и важной задачей. Первый этап исследований по решению проблемы предполагает использование методов системотехники для оценки их технического состояния с целью грамотного и эффективного принятия решений.
2. Для оценки готовности парков к транспортным операциям, предложено использование современных статистических методов с последовательной оценкой их готовности к транспортным операциям в форме факторной цепи.

#### *Перечень ссылок*

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т./ – М.: Машиностроение, 1990. – (В пер.). Т. 8: Эксплуатация и ремонт / Под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барайловича. – 1990. – 320 с.
2. Губенко В.К. Обеспечение долговечности / В.К. Губенко. – Донецк: Донбасс, 1987. – 76 с.
3. Кокс Д.Р. Теория восстановления / Д.Р. Кокс, В.Л. Смит. – М.: Сов.радио, 1967. – 300 с.

Рецензент: В.Э. Парунакян  
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 10.04.2008